

温暖地における前作と耕起法の組み合わせがトウモロコシの生育と アーバスキュラー菌根菌との共生関係に及ぼす影響

臼木一英¹⁾・山本泰由²⁾・田澤純子²⁾

(¹⁾ 北海道農業研究センター, ²⁾ 中央農業総合研究センター)

要旨: 不耕起栽培ではトウモロコシへのアーバスキュラー菌根菌感染を促進する事が多い。しかし、前作の異なる場合の不耕起栽培がアーバスキュラー菌根菌と作物との関係に及ぼす影響については知見が少ない。そこで耕起法および前作の冬作物の違いがトウモロコシへのアーバスキュラー菌根菌感染と生育・収量との関係に及ぼす影響について検討した。その結果、トウモロコシの生育は前年の夏作がアーバスキュラー菌根菌の非宿主作物であるソバの跡地では劣るが、ソバを栽培した後作に冬作として宿主作物のエンバクを栽培し、その跡にトウモロコシを不耕起で栽培することによってトウモロコシへのアーバスキュラー菌根菌感染率が向上するとともに生育も促進された。特にトウモロコシの播種直前までエンバクを作付けることでアーバスキュラー菌根菌感染率の向上が顕著になった。これはトウモロコシ播種直前の宿主作物（エンバク）の栽培が重要な役割を担っていることを示しており、その要因の一つとしてアーバスキュラー菌根菌の外生菌糸ネットワークの保護が関与している可能性が考えられた。以上のことから温暖地においてアーバスキュラー菌根菌の密度が減少した圃場では、夏作のトウモロコシを不耕起栽培する際に播種前に宿主作物を作付けることで生育が改善される可能性が認められた。

キーワード: アーバスキュラー菌根菌, 宿主作物, トウモロコシ, 非宿主作物, 不耕起。

不耕起栽培もしくは省耕起栽培は、一連の圃場作業の中から耕耘や整地の工程を省略することで投入労力やエネルギーの節減につながり、我が国においても環境保全的な技術として注目されている（金沢 1995）。このような背景から耕起法の違いが作物の生育に及ぼす影響について研究が進められ、日本の畑作地帯に多く分布する火山灰性土壌では、トウモロコシやダイズの初期生育がロータリ耕に比べ溝切り耕や部分耕によって促進される現象が認められている（畠中・塩崎 1987, 小川ら 1988）。また、アーバスキュラー菌根菌は作物と共生関係を結びリン等の養分吸収を高めることが知られ、不耕起栽培によって感染は促進されることを示した報告が多くある（Evans and Miller 1988, Fairchild and Miller 1988, McGonigle and Miller 1993, Gavito and Miller 1998b）。前報で、日本の黒ボク土圃場において土壌中のアーバスキュラー菌根菌の孢子密度には耕起法の違いによる影響は認められないが、不耕起栽培ではトウモロコシの生育初期における同菌の感染率が高まり、特に不耕起を継続することで養分吸収が促される可能性を報告した（臼木ら 2005）。しかし、不耕起栽培でもアーバスキュラー菌根菌の感染は高まらない場合も見受けられる（Gavito and Miller 1998a, Nakamoto ら 2001）。また、アーバスキュラー菌根菌の感染については作付け前歴との関連性も指摘され、前作がアーバスキュラー菌根菌の宿主作物である場合には感染が促進し、増収する結果が複数、得られている（Black and Tinker 1977, Vivekanandan and Fixen 1991, Arihara and Karasawa 2000, 臼木・山本 2003）。Gavito and Miller (1998b) は、前作の異なる作付体系と耕起法を組み合わせたとき前

作が非宿主作物であるナタネに比べて宿主作物であるトウモロコシの跡地ではトウモロコシの生育が促進されるが、耕起と不耕起の違いは認められないとしている。このような報告を踏まえ、Tsuji ら（2006）が指摘するように日本の畑作地帯で広く認められる不耕起や省耕起で作物の初期生育が促進されることへのアーバスキュラー菌根菌の関与を明らかにするためには、前作の宿主・非宿主作物の違いやそれら作物の栽培期間と耕起法とを組み合わせ後作のアーバスキュラー菌根菌感染に及ぼす影響について検討を要すると思われる。しかし、これまでに温暖地に認められる冬作・夏作といった連続する作付体系の中でのアーバスキュラー菌根菌と作物との共生関係について不耕起栽培と組み合わせ検討した研究はみられない。そこで、本研究では冬作の宿主・非宿主作物の違いとロータリ耕および不耕起の耕起法との組み合わせが夏作トウモロコシの生育・収量に及ぼす影響についてアーバスキュラー菌根菌と関連づけて考察した。

材料と方法

1. 冬作の違いと耕起法の組み合わせがトウモロコシとアーバスキュラー菌根菌との共生関係に及ぼす影響（試験 1）

試験は中央農業総合研究センター観音台圃場（茨城県つくば市：淡色黒ボク土）において行った。1500 m²の試験圃場に試験区（1区あたり 20 m²）を3反復の分割区法（主区：耕起法、副区：夏作、副々区：冬作）で配置した。前年（1998年）夏作の処理としてソバ（品種：カネコ種苗

第 1 表 試験 1 の作付体系.

1998 年				1999 年			
夏作		冬作		夏作			
5 月	～ 8 月	9 月	10 月	～ 3 月	4 月	5 月	～ 9 月
—トウモロコシ—				—エンバク—		—トウモロコシ—	
—トウモロコシ—				—キカラシ—		—トウモロコシ—	
—トウモロコシ—						—トウモロコシ—	
—ソバ—				—エンバク—		—トウモロコシ—	
—ソバ—				—キカラシ—		—トウモロコシ—	
—ソバ—						—トウモロコシ—	

春ソバ) とトウモロコシ (品種: パイオニア 33 G26) を栽培した. 両作物とも畦間を 70 cm としてソバは条播 (5 g m^{-2}), トウモロコシは株間 20 cm の点播 (3 粒播き出芽後 1 株 1 本立ちに間引き) した. ソバとトウモロコシへの施肥は, 元肥として化成肥料を窒素, リン酸, カリが成分量でソバ 4 g m^{-2} , トウモロコシ 10 g m^{-2} となるように土壤に混和した. ソバは 8 月 10 日に, トウモロコシは 9 月 1 日に刈り取り, 地上部を圃場から持ち出した. 前年冬作の処理としてそれぞれの跡地にアーバスキュラー菌根菌宿主のエンバク (品種: 雪印種苗ニューオールマイティー), 非宿主のキカラシ (品種: 雪印種苗キカラシ) を栽培する区と休閑区を設け, エンバクとキカラシは畦間 70 cm の条播 (それぞれ 7 g m^{-2} と 5 g m^{-2}) で 10 月 14 日に播種した (第 1 表). エンバクとキカラシへの施肥は, 元肥として化成肥料を窒素, リン酸, カリが成分量で 10 g m^{-2} となるように土壤に混和した. 休閑区は手取り除草以外の管理は行わなかった. キカラシは 1999 年 3 月 23 日に, エンバクは 4 月 28 日に地上部を刈り取り圃場から持ち出した. 4 月 29 日にエンバク, キカラシ, 休閑の跡の畦間から土壤を 1 区あたり 10 地点ずつ地表から 30 cm 採取し, よく攪拌した後 50 g を用いてトウモロコシの播種前の土壤中の孢子密度をふるい分け—ショ糖遠心法 (斎藤 1992) により分離, 計数した. 採取したサンプルの一部を風乾した後, 土壤の可給態リン酸含量をブレイ第二法 (準法) によって測定した (南条 1986). エンバク, キカラシ, 休閑の跡に引き続きロータリ耕を連続する区と前作をロータリ耕とした跡に不耕起でトウモロコシ (品種: パイオニア 33 G26) を栽培する区を組み合わせ, 1999 年 5 月 14 日に畦間 70 cm, 株間 20 cm で点播 (3 粒播き出芽後 1 株 1 本立ちに間引き) した. ロータリ耕は耕起深 15 cm とし, 不耕起は深さ 5 cm, 幅 5 cm 程度の播種溝のみを作る以外一切耕起を行わなかった. トウモロコシへの施肥は, 元肥として化成肥料を窒素, リン酸, カリが成分量で 10 g m^{-2} となるように播種後に土壤表面へ散布した. 地上部は 6 月 3 日 (播種後 20 日目) には 1 区あたり 20 株 (2.8 m^{-2}), 6 月 23 日 (播種後 41 日目) に 8 株 (1.1 m^{-2}) 採取し, 出葉枚数, 乾物重を測定した. 同時に, 乾物重を測定した株の種子根を採取し基

部から約 30 cm を染色後, グリッドライン法 (斎藤 1992) によりアーバスキュラー菌根菌の感染率を測定した. 収量調査は 9 月 1 日 (播種後 111 日目) に 1 区あたり 20 株 (2.8 m^{-2}) を刈り取り, 地上部の乾物重を測定した.

2. 冬作の導入方法の違いと耕起法の組み合わせがトウモロコシとアーバスキュラー菌根菌との共生関係に及ぼす影響 (試験 2)

試験は中央農業総合研究センター観音台圃場 (茨城県つくば市: 淡色黒ボク土) において行った. 900 m^2 の試験圃場に試験区 (1 区あたり 22.5 m^2) を 3 反復の乱塊法で配置した. 前年 (1999 年) 夏作の処理としてソバ (品種: カネコ種苗春ソバ) を畦間 70 cm の条播 (5 g m^{-2}) で栽培した. 施肥は, 元肥として化成肥料を窒素, リン酸, カリが成分量で 4 g m^{-2} となるように土壤に混和した. 8 月 2 日に地上部を刈り取り圃場から持ち出した. 前年冬作の処理としてそれぞれの跡に第 2 表に示したエンバク (品種: 雪印種苗ニューオールマイティー) を登熟期の 5 月 24 日に収穫する区, エンバクを出穂前の 3 月 14 日に収穫する区, コマツナ (品種: 晩生コマツナ) を 3 月 23 日に収穫した跡を休閑する区およびコマツナを 3 月 23 日に収穫した跡の 3 月 27 日にエンバクを春まきして出穂期の 5 月 24 日に収穫する区の 4 通りの作付体系処理を設けた. エンバクとコマツナはそれぞれ畦間 70 cm の条播 (それぞれ 7 g m^{-2} と 5 g m^{-2}) で栽培した. エンバクとコマツナの施肥は, 播種前に化成肥料を窒素, リン酸, カリが成分量で 10 g m^{-2} となるように土壤に混和した. エンバクとコマツナは地上部を刈り取り後に圃場から持ち出した. エンバクとコマツナの刈り取り後に 1 区あたり 10 点の土壤をエンバクとコマツナの畦間の地表から 30 cm 採取し, 土壤中の孢子密度を試験 1 と同様の方法で計数した. 採取したサンプルの一部を風乾した後, 土壤の可給態リン酸含量を試験 1 と同様の方法で測定した (南条 1986). 上記の跡地にロータリ耕と不耕起で 2000 年 6 月 2 日にトウモロコシ (品種: パイオニア 33 G26) を畝間 70 cm, 株間 20 cm で点播した. ロータリ耕は耕起深 15 cm とし, 不耕起は深さ 5 cm, 幅 5 cm 程度の播種溝のみを作る以外一切耕起を行わなかった. トウ

第2表 試験2の作付体系.

前作(冬作)の処理	1999年				2000年			
	夏作		冬作		夏作		冬作	
	5月	～ 8月	10月	～ 3月	4月	5月	6月	～ 8月
エンバク(登熟期収穫)	——ソバ——		——エンバク——		——		—トウモロコシ—	
コマツナ-エンバク(出穂期収穫)	——ソバ——		——コマツナ——		—エンバク—		—トウモロコシ—	
エンバク(出穂前収穫)	——ソバ——		——エンバク——		——		—トウモロコシ—	
コマツナ	——ソバ——		——コマツナ——		——		—トウモロコシ—	

第3表 各作付体系跡(トウモロコシ播種前)の可給態リン酸含量, アーバスキュラー菌根菌胞子密度とトウモロコシへの感染率(試験1).

前作		可給態リン酸含量 (mg kg ⁻¹)	胞子密度 (個 kg ⁻¹)	感染率 (%)	
夏作	冬作	トウモロコシ播種前	トウモロコシ播種前	耕起	不耕起
トウモロコシ	エンバク	151.7	2780	40.9	57.1
	キカラシ	132.1	2965	30.0	40.3
	休閑	134.0	2745	30.3	35.1
ソバ	エンバク	147.9	1315	25.9	41.6
	キカラシ	133.4	1380	19.1	21.1
	休閑	144.4	1425	10.8	19.8
有意差					
耕起法		—	—	*	
夏作		n.s.	**	**	
冬作		n.s.	n.s.	**	
耕起法×夏作		—	—	n.s.	
耕起法×冬作		—	—	n.s.	
夏作×冬作		n.s.	n.s.	n.s.	
耕起法×夏作×冬作		—	—	n.s.	

*, **はそれぞれ5%水準, 1%水準で有意差があることを示す. n.s.は有意差が無いことを示す.

モロコシへの施肥は, 元肥として化成肥料を窒素, リン酸, カリが成分量で 10 g m^{-2} となるように播種後に土壌表面に散布した. 地上部乾物重は播種後6月22日(播種後20日目)には1区あたり20株 (2.8 m^{-2}), 6月30日(播種後28日目)には1区あたり生育中庸な8株 (1.1 m^{-2}) を刈り取り, 乾物重の調査を行った. 収量調査は8月30日(播種後89日目)に1区あたり20株 (2.8 m^{-2}) を刈り取り, 地上部の乾物重を調査した. アーバスキュラー菌根菌の感染率は, 6月22日(播種後20日目)に乾物重の調査を行った株の種子根を採取し基部から約30 cmを染色後, 試験1と同様の方法により測定した.

結 果

1. 冬作の違いと耕起法の組み合わせがトウモロコシとアーバスキュラー菌根菌との共生関係に及ぼす影響(試験1)

第1表に示した6通りの作付体系跡のアーバスキュラー菌根菌胞子密度には冬作の影響が認められず, 前年夏作に

トウモロコシを栽培した跡の胞子密度はソバを栽培した跡に比べ高く, 胞子密度は夏作の宿主・非宿主作物の違いが反映されていた(第3表). 土壌の可給態リン酸含量は各作付体系跡に違いが認められなかった. また, トウモロコシのアーバスキュラー菌根菌感染率には耕起法, 夏作と冬作の組み合わせによる交互作用は認められず, 耕起法の違いでは5%水準で, 夏作と冬作ではそれぞれ1%水準で有意差が認められ, エンバク(宿主作物)跡ではキカラシ(非宿主作物)や作物を作付け無かった休閑の跡に比べ高まる傾向にあり, 特に不耕起において顕著であった.

トウモロコシ播種後20日目の乾物重に差が認められなかったが, 播種後41日目にはソバ跡に比べトウモロコシ跡で増大する傾向にあり, 冬作の違いでは休閑跡で劣っていた(第4表). また, 耕起法, 夏作と冬作の組み合わせによる交互作用が認められ, ソバ-エンバク跡の不耕起処理ではその他のソバ跡の区に比べて乾物重が有意に増大していた. 有意ではなかったが播種後41日目の葉数が不耕起栽培で多くなる傾向にあり, ソバ跡に比べてトウモロコ

第4表 トウモロコシの初期生育と絹糸抽出日までの播種後日数(試験1)。

前作		乾物重 (g m ⁻²)		葉数 (枚)		絹糸抽出日までの 播種後日数			
		播種後 20 日目		播種後 41 日目		播種後 41 日目 (日)			
夏作	冬作	耕起	不耕起	耕起	不耕起	耕起	不耕起	耕起	不耕起
トウモロコシ	エンバク	1.29	1.18	55.1	55.0	8.2	8.7	75	74
	キカラシ	1.26	1.12	46.8	51.0	8.1	8.5	75	75
	休閑	1.20	1.17	37.2	40.8	8.0	7.9	77	75
ソバ	エンバク	1.15	1.16	15.6	39.7	7.2	8.3	78	77
	キカラシ	1.19	1.22	14.1	17.2	7.3	7.3	79	81
	休閑	1.22	1.18	13.8	14.3	7.1	7.2	83	80
有意差									
耕起法		n.s.		n.s.		**		n.s.	
夏作		n.s.		**		**		**	
冬作		n.s.		**		**		**	
耕起法×夏作		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.	
耕起法×冬作		n.s.		n.s.		**		**	
夏作×冬作		n.s.		n.s.		**		*	
耕起法×夏作×冬作		n.s.		**		**		n.s.	

*, **はそれぞれ5%水準, 1%水準で有意差があることを示す。n.s.は有意差が無いことを示す。

シ跡が多く、また、休閑跡に比べエンバク跡で多くなった。播種から絹糸抽出までの日数はソバ跡に比べてトウモロコシ跡で早まり、休閑跡に比べエンバク跡で生育促進が助長された。黄熟期の乾物収量は播種後41日目のアーバスキュラー菌根菌感染率が低かったソバー休閑跡では低収になる傾向にあったが、その差は生育初期に比べて小さく、有意差は認められなかった(第5表)。

2. 冬作の導入方法の違いと耕起法の組み合わせがトウモロコシとアーバスキュラー菌根菌との共生関係に及ぼす影響(試験2)

アーバスキュラー菌根菌根菌の孢子密度は、冬作の種類および作付体系の違いによる影響は見られなかった(第6表)。また、土壌の可給態リン酸含量は各作付体系跡に違いが認められなかった。また、トウモロコシへのアーバスキュラー菌根菌感染率は、エンバクの刈り取り直後にトウモロコシを播種したコマツナーエンバク(出穂期収穫)区とエンバク(登熟期収穫)区で高く、コマツナ区で低かった。また、不耕起にすることでいずれの跡地も感染が促進される傾向が見られ、特にエンバク(登熟期収穫)区は顕著であった。

トウモロコシの播種後38日目の乾物重は、コマツナーエンバク区とエンバク(登熟期収穫)区で促進され、特に両区を不耕起にすることで顕著になった(第7表)。この播種後38日目の乾物重は、アーバスキュラー菌根菌感染率が高まるほど大きくなる傾向にあった(第6, 7表)。

トウモロコシの黄熟期における乾物収量は、コマツナよ

第5表 トウモロコシ黄熟期の乾物収量(試験1)。

前作		乾物収量 (kg m ⁻²)	
		耕起	不耕起
夏作	冬作		
トウモロコシ	エンバク	1.61	1.53
	キカラシ	1.59	1.52
	休閑	1.52	1.67
ソバ	エンバク	1.59	1.57
	キカラシ	1.51	1.41
	休閑	1.37	1.47
有意差			
耕起法			n.s.
夏作			n.s.
冬作			n.s.
耕起法×夏作			n.s.
耕起法×冬作			n.s.
夏作×冬作			n.s.
耕起法×夏作×冬作			n.s.

n.s.は有意差が無いことを示す。

第6表 各作付体系跡（トウモロコシ播種前）の可給態リン酸含量，アーバスキュラー菌根菌胞子密度とトウモロコシへの感染率（試験2）.

前作（冬作）の処理	可給態リン酸含有 (mg kg ⁻¹)	胞子密度 (個 kg ⁻¹)	感染率 (%)	
	トウモロコシ播種前	トウモロコシ播種前	耕起	不耕起
エンバク（登熟期収穫）	303.5	427	48.7	76.4
コマツナーエンバク（出穂期収穫）	299.0	432	41.9	54.3
エンバク（出穂前収穫）	294.5	477	20.9	37.4
コマツナ	296.6	345	16.3	28.4
有意差				
耕起法	—	—		*
冬作	n.s.	n.s.		**
耕起法×冬作	—	—		**

*, **はそれぞれ5%水準，1%水準で有意差があることを示す。n.s.は有意差が無いことを示す。

第7表 トウモロコシの初期生育と絹糸抽出日までの播種後日数（試験2）.

前作（冬作）の処理	乾物重 (g m ⁻²)				葉数 (枚)		絹糸抽出日までの播種後日数 (日)	
	播種後20日目		播種後38日目		播種後38日目			
	耕起	不耕起	耕起	不耕起	耕起	不耕起	耕起	不耕起
エンバク（登熟期収穫）	2.64	3.28	52.1	78.5	8.8	9.6	68	69
コマツナーエンバク（出穂期収穫）	3.00	3.41	57.1	82.1	8.7	9.1	70	71
エンバク（出穂前収穫）	2.07	2.50	33.6	30.7	8.0	7.9	72	72
コマツナ	2.21	2.43	25.7	23.6	7.9	7.5	72	72
有意差								
耕起法	n.s.		**		n.s.		n.s.	
冬作	n.s.		**		*		*	
耕起法×冬作	n.s.		n.s.		n.s.		n.s.	

*, **はそれぞれ5%水準，1%水準で有意差があることを示す。n.s.は有意差が無いことを示す。

りもエンバクの導入により増収する傾向にあり，アーバスキュラー菌根菌感染率の高かったコマツナーエンバク区で最も多かった。しかし，初期生育とは異なり耕起法による違いは見られなかった（第8表）。

考 察

本試験では冬作はアーバスキュラー菌根菌の胞子密度の増減に関与せず，前年夏作が宿主作物であるトウモロコシの場合には非宿主作物のソバに比べ胞子密度が高まり，感染も向上した（第3表）。温暖地における本試験とは作期が異なるが，唐澤ら（2001）は北海道において8～11月にヒマワリ（宿主作物）を緑肥として作付けることでアーバスキュラー菌根菌が増殖して翌年のトウモロコシへのアーバスキュラー菌根菌感染率が向上することを明らかにしている。さらに本試験では冬作の期間に栽培したキカラシ，コマツナ（非宿主作物）の跡や休閒の跡とエンバク（宿主作物）の跡では胞子密度が同等であったにもかかわらずエンバク跡の感染率が高まり，特にエンバクをトウモロコシ

第8表 トウモロコシ黄熟期の乾物収量（試験2）.

前作（冬作）の処理	乾物収量 (kg m ⁻²)	
	耕起	不耕起
エンバク（登熟期収穫）	1.54	1.60
コマツナーエンバク（出穂期収穫）	1.66	1.68
エンバク（出穂前収穫）	1.46	1.50
コマツナ	1.39	1.39
有意差		
冬作		**
耕起法		n.s.
冬作×耕起法		**

**は1%水準で有意差があることを示す。n.s.は有意差が無いことを示す。

の播種直前まで栽培した跡地での不耕起栽培によってアーバスキュラー菌根菌感染を向上させる可能性が認められた (第 3 表, 第 6 表). McGonigle and Miller (1993) は, プラウ耕, 不耕起およびリッジ耕がトウモロコシへのアーバスキュラー菌根菌感染に及ぼす影響について比較し, 不耕起およびリッジ耕ではプラウ耕に比べて感染率が高まることを報告している. また, Kabir ら (1997) は, 耕起 (秋プラウー春ディスク体系) では不耕起に比べ春先の土壌中の外生菌糸の量が少なく, 感染が著しく劣ることを明らかにしている. このような耕起による感染率の減少は, 耕起にともなう土壌の攪乱がアーバスキュラー菌根菌の外生菌糸による感染を抑えるためと考えられている (Jasper ら 1989a, b). アーバスキュラー菌根菌は感染した後の枯死した根の切片からも菌糸の再生産を行うことが報告されていることから (Tommerup and Abbott 1981), 不耕起栽培によるアーバスキュラー菌根菌感染率の向上は前作の根に感染したアーバスキュラー菌根菌の菌糸が感染源として機能している可能性があり, 加えて外生菌糸の攪乱が少なかったことが感染率向上に関与していると推察された. しかし, Gavito and Miller (1998a) は, 作付体系と耕起法を組み合わせたとき前作がナタネ (非宿主) 跡に比べてトウモロコシ (宿主) 跡ではトウモロコシの生育が促進されるが耕起と不耕起の違いは認められないとしている. この Gavito and Miller (1998a) の試験は, ナタネとトウモロコシ収穫後の 10 月から翌年 6 月までの 9 ヶ月間を無作付け状態で経過しており, 本試験の冬作導入の影響を検討した結果とは条件が大きく異なる. 本試験の結果 (第 3 表, 第 6 表) から夏作の作付け直前の状況がアーバスキュラー菌根菌感染の多少を左右していることがうかがわれ, 特にエンバク (宿主作物) を 3 月に刈り取ってしまうと感染が抑制されることからアーバスキュラー菌根菌の活動を始める春先に宿主作物が栽培されていることが重要となり, 前報 (白木ら 2005) で指摘したように冬作の作付け前に分断されたアーバスキュラー菌根菌の外生菌糸ネットワークの修復が夏作の播種前に確保され, さらに, その外生菌糸ネットワークが保護される必要があると考えられる. すなわちアーバスキュラー菌根菌胞子の発芽 (Daniels and Trappe 1980, Siqueira ら 1985, 小林 1988) や感染 (Schenck and Smith 1982, Raju ら 1990) には適温が認められ, 前者は 15℃ 以上, 後者は 25℃ 以上で向上すると言われていることから, 温暖地においては地温が上がり始める 3~4 月に発芽した胞子が感染する宿主作物の有無や感染した根の切片の存在が外生菌糸ネットワークの修復につながり, 不耕起栽培による感染率向上に対して重要な要因になると推察された.

これまでに簡易耕栽培では養分吸収が促進されることが知られ (畠中・塩崎 1987), 不耕起栽培や省耕起栽培ではトウモロコシの生育初期におけるアーバスキュラー菌根菌感染率とリン吸収量が高まることが報告されている (Vivekanandan and Fixen 1991, McGonigle and Miller 1996).

また, 温暖地においてはトウモロコシの初期生育促進にアーバスキュラー菌根菌感染によるリン吸収の増加が関与している可能性が示唆されている (白木ら 2004). Barry and Miller (1989) は, トウモロコシの 6 葉期までのリン酸欠乏が播種から絹糸抽出までの日数も延長させることを報告している. これらの報告は生育初期にアーバスキュラー菌根菌感染が向上した不耕起栽培では播種から絹糸抽出までの日数が短縮する本試験の結果 (第 4 表, 第 7 表) を支持している. しかし, 不耕起栽培によってトウモロコシの生育初期に認められた生育差が縮小し, 各作付体系跡における黄熟期のトウモロコシの乾物収量の差異についてはアーバスキュラー菌根菌の感染率だけでは説明できなかった (第 5 表, 第 8 表).

以上のように温暖地の畑圃場において前年夏作にアーバスキュラー菌根菌の非宿主作物を栽培した跡ではトウモロコシの播種前に宿主作物が作付けられ, 不耕起栽培を行うことでアーバスキュラー菌根菌感染率が向上し, 初期生育が改善される可能性が示唆された.

引用文献

- Arihara, J. and T. Karasawa 2000. Effect of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of succeeding maize. *Soil Sci. Plant Nur.* 46 : 43–51.
- Barry, D.A.J. and M.H. Miller 1989. Phosphorus nutritional requirement of maize seedlings for maximum yield. *Agron. J.* 81 : 95–99.
- Black, R.L.B. and P.B. Tinker 1977. Interaction between effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza and fertiliser phosphorus on yields of potatoes in field. *Nature* 267 : 510–511.
- Daniels, B.A. and J.M. Trappe 1980. Factors affecting spore germination of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epigaeus*. *Mycologia* 72 : 457–471.
- Evans, D.G. and M.H. Miller 1988. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and the soil-disturbance-induced reduction of nutrient absorption in maize I. Causal relations. *New Phytol.* 110 : 67–74.
- Fairchild, G.L. and M.H. Miller 1988. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and the soil-disturbance-induced reduction of nutrient absorption in maize II. Development of the effect. *New Phytol.* 110 : 75–84.
- Gavito, M.E. and M.H. Miller 1998a. Changes in mycorrhiza development in maize induced by crop management practices. *Plant Soil* 198 : 185–192.
- Gavito, M.E. and M.H. Miller 1998b. Early phosphorus nutrition, mycorrhiza development, dry matter partitioning and yield of. *Plant Soil* 199 : 177–186.
- 畠中哲哉・塩崎尚郎 1987. 簡易耕の導入に伴う土壌の変化と畑作物の反応. *土壌の物理性* 54 : 2–12.
- Jasper, D.A., L.K. Abbott and A.D. Robson 1989a. Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 112 : 93–99.
- Jasper, D.A., L.K. Abbott and A.D. Robson 1989b. Hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus maintain infectivity in dry soil, except when the soil is disturbed. *New Phytol.* 112 : 101–107.
- Kabir, Z., I.P. Halloran, J.W. Fyles and C. Hamel 1997. Seasonal changes

- of arbuscular mycorrhizal fungi as affected by tillage practice and fertilization : Hyphal density and mycorrhizal root colonization. *Plant Soil* 192 : 285–293.
- 金沢晋二郎 1995. 持続的・環境保全型農業としての不耕起栽培. 畑作物の収量と土壌の特性. 土肥誌 66 : 286–297.
- 唐澤敏彦・笠原賢明・建部雅子 2001. 緑肥作物の導入によるアーバスキュラー菌根菌の増殖とトウモロコシ栽培への利用. 土肥誌 72 : 357–364.
- 小林紀彦 1988. *Gigaspora margarita* 胞子の発芽に影響をおよぼす要因について. 土と微生物 31 : 13–28.
- McGonigle, T.P. and M.H. Miller 1993. Mycorrhizal development and phosphorus absorption in maize under conventional and reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57 : 1002–1006.
- McGonigle, T.P. and M.H. Miller 1996. Mycorrhizae, phosphorus absorption, and yield of maize in response to tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60 : 1856–1861.
- Nakamoto, T., J. Yamagishi, H. Oyaizu, T. Funahashi, E. Frossard and A. Mozafar 2001. The spatial variability patterns of maize growth and root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi in a small field. *Plant Prod. Sci.* 4 : 249–254.
- 南条正巳 1986. 可給態リン酸. 土壌標準分析・測定法委員会編 日本土壌肥料学会監修土壌標準分析・測定法. 博友社, 東京. 127–133.
- 小川和夫・竹内豊・片山雅弘 1988. 湿性火山灰土壌における簡易耕の導入が土壌の諸性質と作物の生育に及ぼす影響. 北海道農試研報 150 : 57–90.
- Raju, P.S., R.B. Clark, J.R. Ellis and J.W. Maranville 1990. Effect of species of VA-mycorrhizal fungi on growth and mineral uptake of sorghum at different temperatures. *Plant Soil* 121 : 165–170.
- 斎藤雅典 1992. 菌根菌の観察 分離と同定. 土壌微生物研究会編 新編土壌微生物実験法. 養賢堂, 東京. 297–311.
- Schenck, N.C. and G.S. Smith 1982. Responses of six species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and their effects on soybean at four soil temperatures. *New Phytol.* 92 : 193–201.
- Siqueira, J.O., D.M. Sylvia, J. Gibson and D.H. Hubbell 1985. Sopres, germination, and germ tubes of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Can. J. Microbiol.* 31 : 965–972.
- Tommerup, C. and L.K. Abbott 1981. Prolonged survival and aiability of VA mycorrhizal hyphae after root death. *Soil Biol. Biochem.* 13 : 431–433.
- Tsuji, H., H. Yamamoto, K. Matsuo and K. Usuki 2006. The effect of long-term conservation tillage, crop residues and P fertilizer on soil condition and responses of summer and winter crops on Andosol in Japan. *Soil Tillage Res.* 89 : 167–176.
- 臼木一英・山本泰由 2003. 温暖地における畑作付体系の違いがアーバスキュラー菌根菌の密度と後作物の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 72 : 158–162.
- 臼木一英・山本泰由・松尾和之・辻博之 2004. 長期収量トウモロコシ・イタリアンライグラス体系へのダイズ, ダイコンの導入がその後の収量性に及ぼす影響. 日作紀 73 : 261–267.
- 臼木一英・山本泰由・田澤純子・辻博之・松尾和之 2005. 耕起法の違いがアーバスキュラー菌根菌の感染およびトウモロコシとエンバクの生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 74 : 417–421.
- Vivekanandan, M. and P.E. Fixen 1991. Cropping system effects on mycorrhizal colonization, early growth, and phosphorus uptake of corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55 : 136–140.

Effects of Previous Cropping and Tillage System on Growth of Maize and Symbiotic Association with Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Central Region of Japan : Kazuei USUKI¹⁾, Hiroyuki YAMAMOTO²⁾ and Junko TAZAWA²⁾ (¹⁾National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Memuro 082-0071 Japan; ²⁾National Agricultural Research Center)

Abstract : Effects of previous crops with no-tillage on the growth of maize and symbiotic association with arbuscular mycorrhizal (AM) fungi were studied. Both the propagule density and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in the field with no-tillage were low when buckwheat was precultivated than when maize was precultivated in the previous summer season. It was due to stimulated association of maize with the propagule of AM fungi. The growth of maize and colonization of AM fungi at vegetative stage were also enhanced significantly by the no-tillage treatment after oat (host plant of AM fungi) cultivation. In particular, the cultivation until just before maize seeding greatly increased the association with AM fungi in no-tillage systems in the central region of Japan. It was assumed that colonization of AM fungi might be stimulated by no-tillage after oat cultivation, because the soil was kept undisturbed and the hypha network of AM fungi in the soil was maintained. However, the effect of tillage systems on the final yield of maize was not observed. It was concluded that the previous cultivation with no-tillage might provide a favorable environment for early dry matter production of maize in the field with depressed propagules.

Key words : Arbuscular mycorrhizal fungi, Host plant, Maize, Non host plant, No-tillage.